

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1912

THÈSE

N°

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

PAR

Noëmi RABUTEAU

Née à Paris, le 1^{er} octobre 1880
Ancienne externe des Hôpitaux de Paris

ÉTUDE

SUR LA

Viscosité de quelques liquides organiques

Président : M. ROGER, professeur

PARIS
IMPRIMERIE DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE
JOUVE & C^{ie}, ÉDITEURS
15, Rue Racine (VI^e)

1912

58

THÈSE
POUR
LE DOCTORAT EN MÉDECINE

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1912

THÈSE

N°

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

PAR

Noëmi RABUTEAU

Née à Paris, le 1^{er} octobre 1880.
Ancienne externe des Hôpitaux de Paris

ÉTUDE

SUR LA

Viscosité de quelques liquides organiques



Président : M. ROGER, professeur

PARIS

IMPRIMERIE DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE

JOUVE & C^{ie}, ÉDITEURS

15, Rue Racine (VI^e)

1912

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

LE DOYEN, M. LANDOUZY

PROFESSEURS

MM.

Anatomie	NICOLAS
Physiologie	CH. RICHET
Physique médicale	WEISS
Chimie organique et Chimie générale	DESGREZ
Parasitologie et Histoire naturelle médicale	BLANCHARD
Pathologie et Thérapeutique générales	ACHARD
Pathologie médicale	WIDAL
Pathologie chirurgicale	TEISSIER
Anatomie pathologique	LEJARS
Histologie	PIERRE MARIE
Opérations et appareils	PRENANT
Pharmacologie et matière médicale	HARTMANN
Thérapeutique	POUCHET
Hygiène	MARFAN
Médecine légale	CHANTEMESSE
Histoire de la médecine et de la chirurgie	THOINOT
Pathologie expérimentale et comparée	LETULLE
	ROGER
Clinique médicale	DEBOVE
	LANDOUZY
	GILBERT
	CHAUFFARD
	HUTINEL
Maladies des enfants	
Clinique des maladies mentales et des maladies de l'encéphale	GILBERT BALLEI
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques	GAUCHER
Clinique des maladies du système nerveux	DEJERINE
	DELBET
Clinique chirurgicale	QUENU
	RECLUS
	SEGOND
Clinique ophtalmologique	DE LAPPERSONNE
Clinique des maladies des voies urinaires	LEGUEU
	BAR
Clinique d'accouchements	PINARD
	RIBEMONT-DESSAIGNE
Clinique gynécologique	POZZI
Clinique chirurgicale infantile	KIRMISSON
Clinique thérapeutique	ALBERT ROBIN

AGRÉGÉS EN EXERCICE

MM.

BALTHAZARD	DUVAL (P.)	LEQUEUX	RATHERY
BERNARD	GOUGEROT	LENI	RETTERRER
BRANCA	GREGOIRE	LOEPER	RICHAUD
BRINDEAU	GUENIOT	MACAIGNE	ROUSSY
BROCA (A.)	GUILLAIN	MAILLARD	ROUVIÈRE
BRUMPT	JEANNIN	MORESTIN	SCHWARTZ
CAMUS	JOUSSET (A.)	MULON	SICARD
CARNOT	LABBE (M.)	NICLOUX	TERRIEN
CASTAIGNE	LANGLOIS	NOBECOURT	TIFFENEAU
CHEVASSU	LAIGNEL-LAVASTINE	OKINCZYC	ZIMMERN
CLAUDE	LECENE	OMBREDANNE	
COUVELAIRE	LENORMANT	PROUST	

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'École a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A MES MAÎTRES DANS LES HÔPITAUX

M. LE PROFESSEUR AGRÉGÉ MARION

MONSIEUR LE PROFESSEUR QUÉNU

MONSIEUR LE PROFESSEUR BAR

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ
AUGUSTE BROCA

(1908-1909)

MONSIEUR LE PROFESSEUR LANDOUZY

(1909-1910)

MONSIEUR LE PROFESSEUR ROGER

(1907-1908)

(1910-1911)

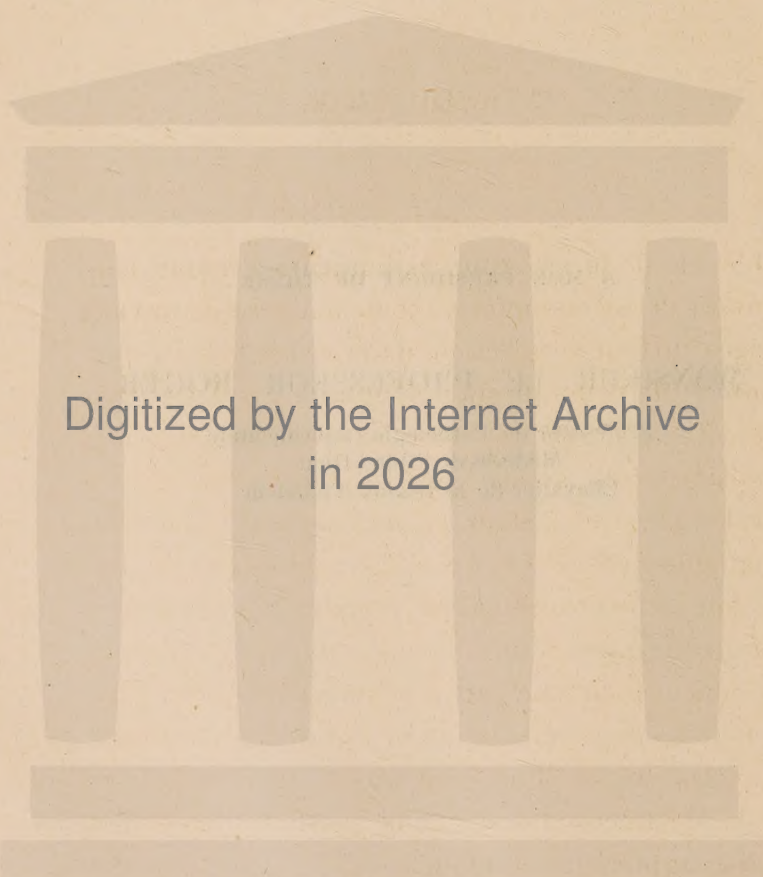
MONSIEUR LE PROFESSEUR MARFAN

(1911-1912)

A MON PRÉSIDENT DE THÈSE

MONSIEUR LE PROFESSEUR ROGER

Professeur de Pathologie expérimentale
Médecin de l'Hôtel-Dieu
Chevalier de la Légion d'honneur



Digitized by the Internet Archive
in 2026

ÉTUDE

SUR LA

Viscosité de quelques liquides organiques

INTRODUCTION

L'étude de la viscosité des humeurs a donné lieu, dans ces dernières années, à toute une série de travaux dirigés surtout vers l'étude de la viscosité sanguine. L'intérêt de cette question tient moins aux résultats déjà obtenus, résultats trop souvent incertains et contradictoires, qu'aux nouveaux horizons ouverts par l'étude d'un facteur de dynamique circulatoire longtemps négligé : la viscosité sanguine. La diversité des appareils et surtout leur exactitude très relative, la difficulté qui en résulte d'éviter toute cause d'erreur, expliquent pour une part les divergences observées. Toutefois l'expérimentation a fourni déjà des matériaux sérieux, et, tout récemment, les travaux de M. A. Marlinet ont donné à la question une remarquable application clinique.

Notre attention a été attirée sur ces faits par M. le professeur Roger ; nul ne pouvait en faire ressortir l'intérêt mieux que notre maître dont les suggestives expériences sur la viscosité sanguine ont mis en

valeur une question aussi complexe. Ce travail a été entrepris sous son inspiration et sa bienveillante direction : après avoir défini le coefficient de viscosité, exposé ses différentes méthodes de détermination et passé en revue les principaux viscosimètres, nous avons tracé un résumé rapide de la plupart des travaux parus sur la question. Enfin, nos recherches personnelles ont porté sur la viscosité de quelques liquides organiques autres que le sang, et sur l'action de certains sels sur des solutions colloïdes.

Nous prions notre maître de bien vouloir accepter l'expression de notre gratitude, et nous adressons également tous nos remerciements à M. Henri Bénard pour la précieuse collaboration qu'il n'a cessé de nous apporter.

CHAPITRE PREMIER

A. — *Historique. — Définition du coefficient de viscosité. — Différentes méthodes de détermination de ce coefficient.*

Les premières considérations sur la viscosité remontent au début du dix-neuvième siècle. Divers savants, cherchant à vérifier les lois du mouvement des fluides établies par d'Alembert, s'aperçurent que, dans un certain nombre de cas, ces équations ne s'accordaient pas avec les résultats de l'expérience. Ceci conduisit à la notion d'un nouveau facteur : la viscosité, et de nombreux physiciens s'attachèrent à en donner une théorie.

Parmi eux, Navier, d'abord (1822), Poisson, ensuite (1831), exposèrent ce principe : « (1) qu'un liquide en mouvement permanent (c'est-à-dire dont la vitesse en un point quelconque ne varie pas avec le temps), dans un tube très étroit qu'il mouille, se partage en couches cylindriques s'emboîtant les unes dans les autres, et dont chacune se meut sur toute

1. R. Gay. Thèse de Paris, 1909. *Étude critique sur la viscosité du sang.*

sa longueur avec une même vitesse, variable d'une couche à l'autre, depuis la vitesse nulle de la couche adhérente à la paroi, jusqu'à une vitesse maxima correspondant au filet axial. Chaque couche subit donc deux frottements, dont l'un agissant sur sa face externe tend à ralentir son mouvement, et dont l'autre agissant sur sa face interne tend à l'accélérer ».

Or, la formule à l'établissement de laquelle conduisit cette théorie se trouva toute semblable à celle établie antérieurement par Poiseuille, d'après l'expérimentation pure.

L'hypothèse sur la viscosité se trouvait donc vérifiée.

Il convient d'étudier les travaux de Poiseuille, qui sont les premiers en date (1). Des expériences de ce physicien découlent toutes celles qui furent faites depuis, de même que les différents viscosimètres dérivent pour la plupart de l'appareil employé par lui.

La viscosité d'un fluide se met mieux en évidence quand on fait mouvoir ce fluide dans un tube capillaire : Poiseuille faisait donc passer à travers un tube capillaire A B, sous une pression connue, une quantité déterminée de liquide mesurée entre les repères M et N d'une ampoule C soudée au tube capillaire (fig. 1) et il notait le temps nécessaire à ce passage pour diverses longueurs et sections de ce

1. Poiseuille, *Recherches expérimentales sur le mouvement des liquides dans les tubes de petits diamètres*. (*Annales de Physique et de Chimie*, t. VIII, 1843, et t. XXI, 1847.)

tube et sous diverses pressions. Les niveaux étaient donnés par une lunette mobile le long d'une règle verticale ; la pression constante était indiquée par un manomètre relié à l'ampoule par un vase en forme de fuseau. Enfin tout l'appareil était plongé dans un vase rempli d'eau pouvant être amenée à une température déterminée et constante.

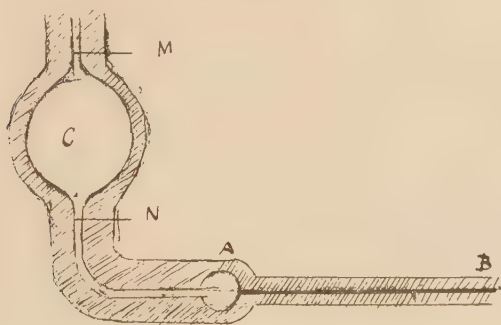


FIG. 1

(D'après R. Gay)

C'est à l'aide de cet appareil que Poiseuille établit ses fameuses lois, qui sont les suivantes :

1° Pour un même liquide, les temps d'écoulement sont en raison inverse des pressions exercées. Donc la quantité de liquide qui coulera dans le même temps variera proportionnellement à la pression ;

2° Dans un même temps, et sous une même pression, les quantités de liquide qui passent sont en raison inverse de la longueur des tubes. Cette loi ne serait vérifiée qu'à partir d'une certaine longueur limite, d'autant plus grande que le tube est plus large ;

3° Les quantités de liquide écoulé dans des tubes de diamètres différents mais de même longueur, sous une même pression et à une même température, sont en raison directe des quatrièmes puissances de ces diamètres.

D'où on tire la formule :

$$Q = K \frac{H D^4}{L}$$

dans laquelle :

Q = volume du liquide recueilli pendant l'unité de temps.

H = pression constante à laquelle on opère.

D = diamètre du tube capillaire.

L = longueur de ce même tube.

K est une constante, variable seulement avec le liquide employé et la température à laquelle on opère, et qu'on appelle coefficient de viscosité absolu du liquide considéré.

Ce coefficient calculé pour l'eau est tel qu'on peut en faire abstraction dans les tubes larges, mais non dans les tubes capillaires.

La formule établie par les physiciens, d'après l'hypothèse que le frottement intérieur, c'est-à-dire la viscosité, est proportionnel à la différence de vitesse des couches, est la suivante :

$$Q = \frac{\pi H R^4 T}{8 \rho L}$$

ρ est un coefficient dépendant de la nature du liquide employé et de la température.

De cette formule, on tire :

$$\rho = \frac{\pi H R^4 T}{8 Q L}$$

Ce nombre ρ est encore appelé coefficient de viscosité absolu du liquide employé.

Il a, sur le coefficient K , l'avantage de varier dans le même sens que la viscosité, c'est-à-dire que, plus le liquide est visqueux, plus les valeurs numériques de ρ sont grandes. Pour K , c'est l'inverse.

Dans la pratique, il est plus simple d'étudier la viscosité spécifique des liquides par rapport à l'eau distillée. Pour cela, on compare les durées d'écoulement T et T' de volumes égaux du liquide étudié et d'eau distillée, dans un même tube capillaire et sous la même pression.

La formule

$$\rho = \frac{\pi H R^4 T}{8 Q L}$$

appliquée successivement au liquide à étudier et à l'eau distillée permet de tirer la proportion suivante :

$$\frac{\rho}{\rho'} = \frac{T}{T'}$$

où ρ représente le coefficient de viscosité absolu du liquide dont un certain volume s'écoule en T unités de temps.

ρ' représente le coefficient de viscosité absolu de l'eau distillée dont le même volume s'écoule en T' unités de temps.

Si on fait $\rho' = 1$ on a la formule :

$$\eta = \frac{T}{T},$$

dans laquelle η désigne le coefficient de viscosité *relatif* du liquide employé.

Différentes méthodes ont été imaginées pour déterminer la viscosité des liquides. Nous ne citerons que pour mémoire la méthode de Coulomb basée sur la résistance qu'éprouve le mouvement d'un disque oscillant horizontalement dans le liquide sous l'influence de la torsion d'un fil auquel le disque est suspendu.

La méthode de Jones est basée sur la vitesse constante que prend une petite sphère tombant à l'intérieur d'un liquide visqueux. Stokes a montré que lorsque un corps se meut d'un mouvement uniforme, à travers un pareil liquide, il éprouve une résistance proportionnelle à la vitesse, pourvu que celle-ci soit assez faible. Quand une sphère solide commence à tomber dans un fluide doué de viscosité, la vitesse est d'abord petite et le poids de la sphère est plus grand que la résistance due à la viscosité; la vitesse de la sphère, et par suite la résistance, augmentent donc jusqu'à ce que la résistance soit égale au poids de la sphère. Quand cette dernière vitesse est atteinte, les forces agissant sur la sphère sont en équilibre et la sphère tombe avec une vitesse égale à la vitesse finale.

La méthode la plus pratique consiste à mesurer la

vitesse d'écoulement du liquide dans un tube capillaire de longueur déterminée, celui-ci étant plongé dans un vase rempli d'eau dont la température est donnée par un thermomètre.

B. — *Description du viscosimètre d'Ostwald. -- Critique de l'appareil. — Autres viscosimètres*

Différents appareils ont été construits pour appliquer cette dernière méthode. Nous décrirons d'abord le viscosimètre d'Ostwald, choisi pour effectuer nos déterminations parce que c'est le viscosimètre le plus simple, le plus facile à manier. D'ailleurs la plupart des autres viscosimètres se rapprochent plus ou moins de ce type.

Le viscosimètre d'Ostwald (fig. 2) se compose d'un tube capillaire a b, terminé à sa partie supérieure par une boule d. De la boule part un tube d'abord capillaire, puis plus large, auquel peut s'adapter une tige de caoutchouc reliée à un appareil aspirateur Potain. Ce tube a b c, plonge entièrement dans un manchon rempli d'eau, dont la température est donnée par le thermomètre t.

Deux repères f et g sont placés au-dessus et au-dessous de la boule.

Le manchon de verre est muni à sa partie supérieure et à sa partie inférieure de deux tubulures, reliées respectivement par une tige de caoutchouc munie d'une pince obturatrice, à deux ballons A et B

contenant l'un de l'eau chaude, l'autre de l'eau froide.

Le tuyau de l'appareil Potain étant préalablement fixé au tube t traversant le bouchon obturateur, on fait passer par aspiration dans le manchon un courant d'eau chaude ou froide qui amène l'eau du manchon à une température déterminée.

Le tuyau d'aspiration étant ensuite fixé à l'extrémité supérieure du tube capillaire, on aspire le liquide de l'expérience jusqu'à un point situé un peu au-dessus de f et on détermine la durée T du temps nécessaire pour que tout le liquide s'écoule de f en g .

On répète la même expérience avec de l'eau distillée. Soit T' la durée de l'écoulement. La pression H est ici une grandeur variable car elle est à chaque instant égale à la pression de la colonne du liquide qui ne s'est pas encore écoulé; mais comme la loi suivant laquelle cette pression varie est la même pour les deux liquides, on peut encore appliquer la formule :

$$\eta = \frac{\rho}{\rho'} = \frac{TH}{T'H'} = \frac{T_{\delta'}}{T_{\delta}}$$

δ et δ' étant les densités respectives du liquide étudié et de l'eau distillée; on sait en effet que dans l'équilibre des liquides on a $H_{\delta} = H'\delta'$.

Si l'on fait $\delta' = 1$ et si l'on prend comme unité de viscosité absolue celle de l'eau, c'est-à-dire si l'on fait $\rho' = 1$, on a :

$$\rho = \frac{T_{\delta}}{T'}$$

si de plus les deux liquides ont des densités peu différentes, ce qui est le cas pour les liquides de l'organisme, on a enfin la formule

$$\eta = \frac{T}{T'}$$

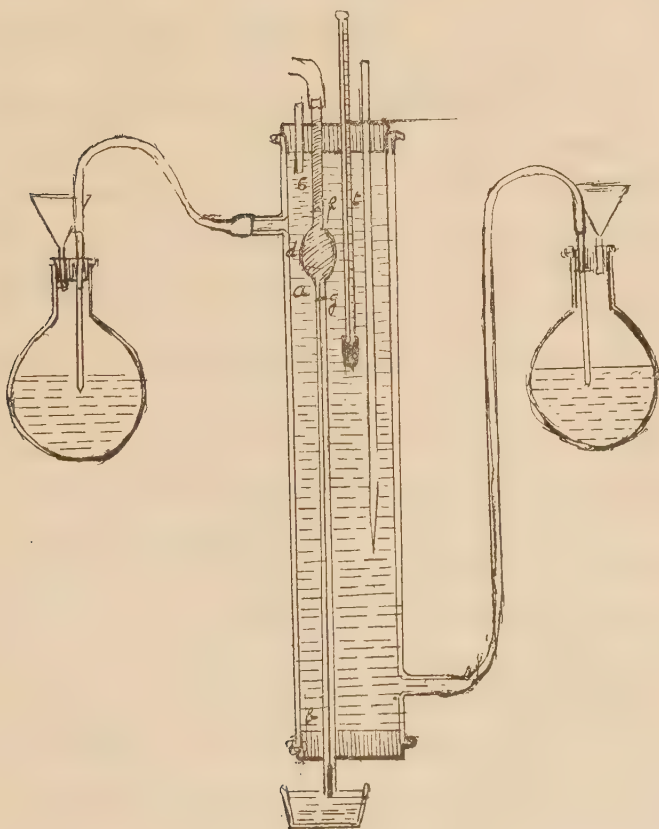


FIG. 2

Viscosimètre d'Ostwald

dans laquelle η représente le coefficient de viscosité relatif du liquide employé.

Cet appareil comporte plusieurs causes d'erreur.

Il est d'abord indispensable de procéder à un nettoyage soigneux du tube capillaire après chaque expérience, sous peine d'avoir des résultats entachés d'erreur. Même dans ces conditions, il serait imprudent de se fier à une seule détermination. Botazzi en faisait trois pour chaque expérience, nous avons presque constamment suivi cette méthode.

Avec certains liquides (solution d'albumine d'œuf ou de gomme, par exemple), on peut voir se produire le phénomène suivant : une fois que la colonne du liquide descendant a franchi la partie du tube capillaire exactement située au-dessus de la boule, persiste une fine bulle animée de battements. Ces battements peuvent modifier la durée d'écoulement du liquide, d'où une nouvelle cause d'erreur (1).

Botazzi s'est servi pour ses travaux du même appareil, mais la boule surmontant le tube capillaire était reliée par un tube coudé muni d'un robinet, à un récipient dans lequel on peut diminuer la pression par simple aspiration. Un manomètre y était adapté qui mesurait exactement cette pression.

Après chaque expérience, l'appareil était démonté et lavé successivement avec de l'eau distillée, de l'alcool, de l'éther, et séché par un courant d'air sec. De plus, de temps en temps, on le lavait avec un acide étendu.

1. Nous avons cherché au cours de nos expériences à faire disparaître cette cause d'erreur, en donnant à cette partie du tube capillaire un diamètre trois fois plus grand. Ainsi modifié, l'appareil est d'un maniement plus commode.

Le viscosimètre de Mayer est encore un viscomètre d'Ostwald modifié : un tube de verre en U, à branches parallèles porte à la partie supérieure

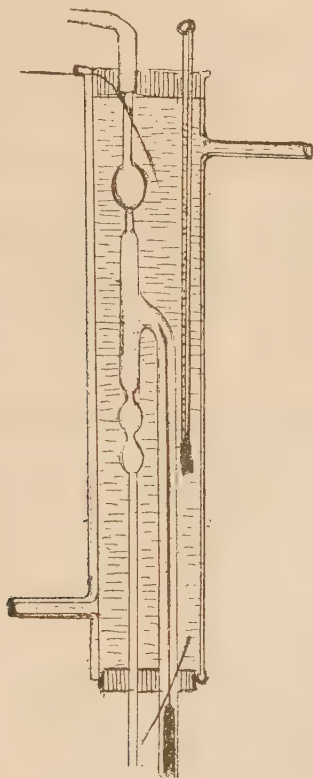


FIG. 3

Viscosimètre de M. Bénard

d'une des branches un réservoir en forme de sphère ouverte à sa partie supérieure. En un point de l'autre branche est soufflée une seconde sphère de dimensions égales à la première. Les sphères occupent sur les branches en U une position telle que le raccord

de la seconde avec le tube capillaire est situé dans un plan un peu inférieur à celui de la première. Un liquide placé dans la sphère A s'écoule de lui-même dans la branche descendante, puis s'élève peu à peu dans la branche montante et la sphère B. On mesure le temps qui lui est nécessaire pour remplir cette sphère.

Un appareil d'un type tout différent a été construit par Tissot. Cet auteur constate en effet une cause d'erreur dans le fait de l'adhérence aux parois du tube capillaire, d'une couche irrégulière d'hématies et de leucocytes, s'il s'agit de viscosimétrie sanguine

Disons seulement que son appareil est basé sur la mesure d'un autre phénomène dû aussi à la viscosité: la formation de courants dans les liquides au sein desquels se meut un corps animé d'un mouvement propre. Ces remous sont d'autant plus étendus que le liquide est plus fluide.

Tous les viscosimètres précédents ont le défaut d'être assez encombrants; de plus ils nécessitent une certaine quantité de liquide, et comme tels servent surtout à des expériences faites sur les animaux, quand il s'agit d'étudier la viscosité sanguine. Voici maintenant un appareil permettant de faire le même genre de détermination au lit du malade. C'est le viscosimètre de Hess qui présente l'avantage de ne nécessiter qu'une goutte de sang et de permettre une viscosimétrie assez rapide (une demi-minute) pour qu'il n'y ait pas lieu de tenir compte

de la coagulabilité. De plus, il est peu encombrant (le volume d'une boîte de sphymographe).

Cet appareil est constitué par deux tubes capillaires horizontaux et parallèles, à travers lesquels on fait une aspiration simultanée, d'un côté sur le sang, de l'autre sur l'eau distillée. Le coefficient de viscosité s'obtient facilement en lisant sur les graduations la différence de longueur des colonnes d'eau et de sang.

Un viscosimètre nouveau est dû à M. Henri Bénard qui s'est appuyé pour le construire sur ce fait que du sang dilué dans de l'eau chlorurée à 7 o/oo étant abandonné au repos dans un tube à essai, on voit, au bout d'un certain temps, un amas de globules se déposer au fond du tube, tandis qu'à la partie supérieure se détache nettement une couche de liquide décoloré. La partie moyenne garde, au contraire, une coloration homogène.

M. Bénard en a déduit qu'en adaptant à la partie moyenne du tube capillaire d'un viscosimètre d'Ostwald, un second tube capillaire latéral (fig. 3) par lequel se ferait l'écoulement du liquide, on diminuerait l'inconvénient de la sédimentation des globules, ceux-ci se déposant au fond du tube principal, fermé pendant l'écoulement.

Cet appareil, appliqué à la viscosimétrie sanguine, présente l'inconvénient d'exiger du sang oxalaté, donc modifié chimiquement, et de plus en quantité assez notable. Aussi M. H. Bénard le préconise-t-il surtout pour la viscosimétrie des émulsions.

CHAPITRE II

En dehors de recherches purement scientifiques, se rapportant à la viscosité d'un certain nombre de substances chimiques : influence de la température et de la pression sur la viscosité des liquides, viscosité des dissolutions et des mélanges, la majorité des travaux se rapporte à l'étude de la viscosité du sang. Malheureusement on ne peut enregistrer que peu de conclusions définitives : la thèse de M. Gay (1), l'article de M. Gouget (2) dans lesquels se trouvent résumées la plupart des recherches antérieures à 1912, montrent des résultats souvent incertains, parfois même, contradictoires. Ceci est imputable pour une bonne part à la diversité des appareils et à leur plus ou moins d'exactitude. Mais, plus récemment, les travaux de M. A. Martinet ont donné, à cette question, un relief nouveau en faisant entrer la détermination de la viscosité sanguine dans la pratique clinique.

1. R. Gay, *Étude critique sur la viscosité du sang*, 1909

2. A. Gouget, *Quelques récents travaux sur la viscosité du sang* (*Presse Médicale*, 1^{er} juillet 1911).

A. — *Recherches faites sur les animaux.* — Jusqu'à Benno Lewy, les recherches faites sur la viscosité sanguine ont été peu importantes. Poiseuille n'avait fait sur ce point que quelques expériences. Il avait toutefois signalé la sédimentation des globules sanguins au fond de son tube, cause d'un écoulement irrégulier. Les expériences faites beaucoup plus tard par Haro (1873-1876) et Ewald (1878), avaient amené ces auteurs à cette conclusion que les lois de Poiseuille n'étaient pas exactement applicables au sang.

En 1897, Benno Lewy reprit ces questions (1). Il se servit de sang défibriné ou oxalaté ; son appareil comportait un tube capillaire horizontal, ceci pour se placer dans des conditions expérimentales identiques à celles de Poiseuille. De plus, pour éviter l'inconvénient de la sédimentation des globules, il agitait violemment le sang avant de le faire pénétrer dans le tube capillaire et vérifiait l'absence de dépôt en déterminant le poids spécifique total du sang, à l'écoulement, comparé à celui du sang avant l'écoulement. Enfin la durée de l'expérience était aussi courte que possible.

Dans ces conditions, B. Lewy obtint une nouvelle vérification des lois de Poiseuille.

Botazzi (1), a étudié la viscosité de quelques

1. B. Lewy, *Die Reibung des Blutes* (Pflüger's Archiv., Bd. 65, 1897).

2. Botazzi (Fil), *Ricerche sull' attrito interno (viscosità) di alcuni liquidi organici e di alcune soluz. acq. di sost. proteiche.* L'Orosi

liquides organiques et de solutions aqueuses de substances protéiques. Il est parvenu à cette conclusion que plus la solution renferme de matières protéiques, plus la viscosité est forte. Mais il n'en a pas tiré de loi mathématique.

La nature de la substance protéique aurait une grande influence sur la viscosité, celle-ci augmentant avec la complexité moléculaire de la substance.

Le même auteur a déterminé la viscosité de mélanges à taux variables d'une solution de NaCl à 1 o/o et d'albumine d'œuf battu et filtré ; il a déterminé également celle du sérum qui serait en rapport avec sa teneur en substances albuminoïdes ; nombreux sont les auteurs qui confirment ces dernières recherches : Burton Opitz, Determann (1), Borelli, Datta (2), Korányi et Bence (3).

Botazzi a étudié également la viscosité du sang qui dépend pour lui du nombre des globules rouges. M. Gay le suit dans cette voie, mais en faisant remarquer que ce seul facteur est insuffisant pour expliquer le sens des variations de la viscosité.

Tissot (4), Determann et Weil (5), considèrent

dell' Estr., 1897 (*Archives italiennes de Biologie*, t. XXIX, 1898).

1. Determann, *Zur Kritik der Viscosimetrie des Blutes* (*Zeitschr. f. klin. Med.*, 1910, Bd LXX, H. 3-4).

2. Borelli et Datta, *Viscosimetria del siero di sangue* (*Riv. crit. di Clin. med.*, 1906).

3. Korangi et Bence, *Pflüger's Archiv*, CX.

4. R. Tissot, *la Viscosité sanguine* (*Folia hematologica*, juin 1907).

5. Determann et Weil, *Untersuchungen über Viscosität u. Gasgehalt des menschlichen Blutes* (*Zeitschr. f. klin. Med.*, 1910, Bd LXX).

que la viscosité du sang dépend d'abord du chiffre de ses éléments figurés, mais ensuite de sa teneur en CO^2 . A celle-ci seraient dues surtout les modifications de la viscosité dans les maladies.

Pour Adam (1), au contraire, le facteur essentiel de la viscosité du sang est sa teneur en acide carbonique, le maximum de viscosité étant atteint quand le sang est saturé d'acide carbonique. Viendraient ensuite comme facteurs secondaires : le nombre, la teneur en hémoglobine et le volume des globules rouges ainsi que la teneur du plasma en albumine et en sels.

D'une façon générale, on peut conclure, avec MM. Weill et Gardère (2), « qu'une forte variation de la viscosité doit faire avant tout songer à une modification dans l'état des globules rouges, l'hypoviscosité étant provoquée par une destruction globulaire au cours des anémies ou une diminution relative du nombre des hématies dans l'hydrémie ; l'hyperviscosité, par une polyglobulie vraie ou relative avec concentration du sang, et par la teneur élevée des globules en CO^2 ».

Les travaux de Hürthle (1900) et ceux d'Opitz (1902) ont pour point de départ la critique des résultats obtenus en se servant pour les expériences de sang rendu incoagulable par défibrination ou par

1. H. Adam, *Zur viscosität der Blutes* (Zeitschr. f. klin. Med., 1909, Bd LXVIII, H. 3-4).

2. Weill et Gardère, *la Viscosité du sang chez l'enfant* (Paris Médical, 1912, n° 32),

l'oxalate de potassium. Hürthle pense que le sang ainsi traité est modifié chimiquement ; de plus, que, malgré toutes les précautions, une certaine sédimentation ne peut être évitée, d'où une nouvelle cause d'erreur.

Pour les éviter, Hürthle (1) s'est proposé d'effectuer la mesure de la viscosité du sang vivant, avant sa coagulation, en faisant passer le sang directement de l'artère dans le tube capillaire, la force motrice étant représentée par la pression artérielle. C'est avec cette technique que Hirsch effectua les premières mensurations sur du sang recueilli par ponction veineuse, et les expériences donnèrent des résultats absolument conformes à ceux de Poiseuille. Plus tard cet appareil et cette technique furent légèrement modifiés par Determann.

Adoptant la méthode de Hürthle, B. Opitz (2) a entrepris une série de recherches portant sur les variations de la viscosité sanguine sous des influences telles que : la narcose, la saignée, l'alimentation.

La narcose ne parut pas modifier sensiblement la viscosité sanguine.

La viscosité du sang serait minima dans le jeûne

1. K. Hürthle, *Ueber eine methode zur Bestimmung der viscosität des lebenden Blutes und ihre Ergebnisse* (Pflüger's Archiv., vol. 82, 1900).

2 R. Burton Opitz, *Vergleich des Viscosität des normalen Blutes mit der des oxalatblutes des defibrinirten Blutes und des Blutserum bei verschiedener temperatur.* (Pflüger's Archiv., vol. 82, 1900.)—*A comparative study in the viscosity of the blood.* Americ. Journ. of Physiology, vol. VII, 1902).

et maxima dans l'alimentation carnée. La viscosité du sérum varie dans le même sens, mais non proportionnellement.

Le même auteur étudie ensuite la viscosité du sang normal comparée à celle du sang oxalaté et défibriné et la viscosité du sérum sanguin à diverses températures.

Ces expériences démontrent que le sang défibriné a une viscosité un peu moins élevée que le sang normal, par contre la viscosité du sang oxalaté est un peu plus élevée.

Quant à l'influence de la température sur la viscosité du sang, les résultats d'Opitz ne concordent pas avec ceux de Lewy ; ce dernier avait trouvé que la viscosité du sang de mouton reste constante de 27 à 45 degrés, puis diminue de 45 à 50 degrés. Pour Opitz, la viscosité du sang défibriné diminue simplement quand la température augmente.

Enfin un dernier travail d'Opitz est relatif à l'étude comparative de la viscosité du sang des animaux à sang froid.

Mayer (1902) (1) s'est servi pour ses recherches du viscosimètre décrit dans le précédent chapitre. Sa détermination des coefficients de viscosité du

1. A. Mayer, *Description d'un nouveau viscosimètre. — Rôle de la viscosité dans les échanges osmotiques. — Coefficients de viscosité du sérum et du plasma sanguin normaux chez quelques animaux. — Études viscosimétriques sur la coagulation des albuminoïdes du plasma sanguin par la chaleur Variations de viscosité et variations des quantités des substances albuminoïdes du plasma.* (Comptes rendus de la Société de Biologie, 1902-1903).

sérum normal chez quelques animaux et chez l'homme, montre qu'il y a peu de variations chez les individus d'une même espèce. Chez l'homme il trouve 1, 56 dans les deux cas.

Signalons encore cette intéressante considération : l'adjonction d'une substance visqueuse à une solution saline diminue le pouvoir osmotique de la solution, bien que le point cryoscopique n'ait pas changé. Et plus la viscosité augmente, plus le pouvoir osmotique diminue. Donc, pour se faire une idée du pouvoir osmotique d'un liquide, il ne suffit pas de tenir compte de sa tension osmotique par la cryoscopie, la viscosité entre aussi comme facteur.

Dans un ordre d'idées parallèle ont été exécutées, par M. le professeur Roger, les intéressantes expériences suivantes (1) :

M. Roger a établi chez des lapins saignés à blanc, une circulation artificielle, sous pression constante, avec du liquide de Locke. L'autopsie montra un épanchement considérable de liquide dans l'intestin grêle, surtout au niveau du duodénum ; un épanchement moins considérable dans le péritoine ; les épiploons gastro-spléniques étaient fortement infiltrés.

Renouvelant la même expérience, mais cette fois en additionnant de gomme le liquide de Locke, il constata des diffusions de moins en moins marquées,

1. Professeur H. Roger, *Introduction à l'étude de la viscosité du sang* (Archives de médecine expérimentale, septembre 1908).

à mesure que la viscosité de la solution se rapprochait de celle du sang.

Le professeur Roger en a déduit que des recherches poussées dans cette même voie conduiraient peut-être à une nouvelle pathogénie de certains œdèmes qui ne devraient pas être rapportés uniquement à des troubles vasomoteurs (hypertension) ou à des modifications chimiques du sang (rétention saline), mais auxquels des modifications d'ordre physique (viscosité sanguine) prendraient part.

Dans une deuxième série d'expériences, étudiant le rôle de la viscosité dans les phénomènes mécaniques de la circulation, M. Roger montre qu'il faut tenir compte, non seulement de la différence de résistance des capillaires, mais aussi de la viscosité du sang pour expliquer la différence d'écoulement du sang par une artère et par une veine. Les graphiques résultant des expériences qu'il institua en se servant d'eau glycinée comme liquide visqueux, montrent que la viscosité a pour effet d'atténuer les irrégularités de dénivellation, de retarder les chutes de pression, de diminuer la hauteur des dénivellations et que d'une manière générale c'est surtout avec un liquide visqueux qu'expérimentalement on reproduit des figures comparables aux sphymogrammes.

B. — *Recherches faites sur l'homme*

La plupart des expériences précédentes ont été faites sur les animaux; la quantité de sang prélevée

pouvant être assez importante. Pour les travaux effectués sur l'homme, l'appareil presque exclusivement employé a été celui de Hess, qui entre autres avantages, présente, nous l'avons vu, celui de ne nécessiter qu'une goutte de sang.

1° *A l'état physiologique.* — Hess (1) a recherché les variations subies par la viscosité sanguine chez les gens sains. Il constate que la viscosité, assez basse chez l'enfant au-dessous de dix ans, subit une augmentation brusque de dix à vingt ans, pour se maintenir ensuite au même niveau. Vers dix-huit ans, on atteint un chiffre maximum de 5,5.

MM. Weill et Gardère (2), qui ont étudié la viscosité du sang chez l'enfant, ont obtenu chez le nourrisson des valeurs assez constantes entre 3,6 et 3,8. Quatre enfants bien portants âgés de dix à quinze ans avaient une viscosité de 4,42 et 4,5.

Blunscky (3) ayant déterminé en même temps que la viscosité du sang, celle de l'hémoglobine et trouvé que ces deux grandeurs variaient dans le même sens, Hess conclut à un rapport normal $\frac{\text{hémoglobine}}{\text{viscosité}}$ oscillant autour de 19 avec des limites de 17 à 21.

Chez les malades, ce quotient s'écarterait beaucoup de ces limites.

1. Walter Hess (de Zurich), *Viscosität des Blutes und Herzarbeit* (*Vierteljahrschrift der Naturforschergesellschaft*, Zurich, 1906).

2. Weill et Gardère, *la Viscosité du sang chez l'enfant* (*Paris médical*, n° 2, 1912).

3. Blunscky, *Beiträge zur Lehre von der Viscosität des Blutes* (*Dissertation Zurich*, 1908).

Disons que la valeur de ce rapport a été contestée par M. Gay qui envisage de préférence le rapport ,
nombre de globules.

viscosité.

2° *A l'état pathologique.* — Bachmann (1) a pris pour base de ses recherches ce même rapport $\frac{\text{hémoglobine}}{\text{viscosité}}$ qu'il a déterminé dans un certain nombre d'affections. Ses déterminations atteignent le chiffre de 400. Il considère ce rapport comme devant être normalement égal à 20.

Dans la pneumonie fibrineuse, Bachmann note une viscosité élevée. Dans un travail plus récent Austrian (2) fait la même constatation. Sans doute faut-il attribuer cette élévation à la cyanose.

Dans la fièvre typhoïde, Bachmann trouve constamment un rapport $\frac{\text{hémoglobine}}{\text{viscosité}}$ fort, l'hémoglobine conservant sa valeur moyenne et la viscosité étant très basse.

Ces résultats sont en contradiction avec ceux d'Austrian qui trouve le rapport $\frac{\text{hémoglobine}}{\text{viscosité}}$ le plus souvent inférieur à la normale. Mayer avait

1. Bachmann, *Die klinische Verwertung der viscositätsbestimmung an Hand von vierhundert Bestimmungen.* (Deutschen Archiv. f. klin. Méd. Leipzig, octobre 1908).

2. Ch. R. Austrian, *The viscosity of the blood in health and disease* (Bull. of the J. Hopk. Hosp., 1911, vol. XXII).

également noté une viscosité élevée dans la fièvre typhoïde.

Dans la méningite épidémique, il y a tendance à l'augmentation de la viscosité, mais le rapport $\frac{\text{hémoglobine}}{\text{viscosité}}$ s'écarte assez peu de la normale.

Dans la tuberculose, les valeurs de la viscosité sont relativement fortes ; Tissot avait eu des résultats comparables à ceux de Bachmann.

Segale (1) avait observé dans l'anurie expérimentale une hypoviscosité initiale qui, ou bien continuait à descendre, ce qui était le cas le plus fréquent, ou bien était suivie d'une hyperviscosité persistant jusqu'à la mort. Dans la néphrite interstitielle, Bachmann et Austrian trouvent une viscosité basse et constatent que, sans qu'il y ait de rapport entre l'état de la tension vasculaire et celui de la viscosité sanguine, beaucoup de malades à tension élevée ont une viscosité basse.

Par contre Hirsch, Beck (2) et Gay, reprenant les mêmes expériences, trouvent une viscosité élevée dans la néphrite interstitielle.

Enfin, dans tous les cas d'ictus apoplectiques, Bachmann trouva une viscosité élevée, et il pense que le pronostic peut être envisagé comme

1. Segale, *Recherches sur quelques propriétés physico-chimiques du sérum du sang, dans diverses lésions expérimentales.* (Archives italiennes de Biologie, 1907).

2. C. Hirsch und C. Berck, *Studien zur Lehre von der Viscosität (inneren Reibung, des lebenden, menschlichen Blutes.* (Deutsches Archiv. f. klin. Medic. Bd. 69, 1901).

mauvais quand la viscosité est supérieure à 5,8.

A l'état pathologique, les variations de la viscosité présentent, chez l'enfant et surtout chez le nourrisson, un intérêt particulier. Les troubles digestifs, si fréquents, des deux premières années de la vie, amènent par déperdition aqueuse la déshydratation de l'organisme et la concentration du sang. Or, cette concentration sanguine se traduit par une augmentation sensible de la viscosité. La viscosimétrie permet donc ici d'apprécier la concentration sanguine et cette méthode a l'avantage d'être plus simple et plus rapide que celle de la numération des globules, tout en étant plus exacte.

MM. Amerling, Allaria et Lust, et, plus récemment, MM. Weill et Gardère, se sont fondés sur cette méthode pour étudier les modifications du sang chez le nourrisson au cours des troubles digestifs, et leurs conclusions les ont conduits à des applications pratiques, intéressantes au point de vue pronostic et thérapeutique.

C'est ainsi que la viscosité du sang augmente d'une façon constante au cours des troubles digestifs aigus, trouvant son expression la plus élevée dans le choléra infantile. Pour Amerling, l'élévation de la viscosité précéderait même l'apparition des troubles digestifs. La viscosité sanguine diminue rapidement dans les cas favorables, restant au contraire élevée dans les cas graves, et augmentant aux approches de la mort par le fait de la cyanose s'ajoutant à la déshydratation excessive.

La viscosimétrie permet en outre de suivre les effets thérapeutiques des injections de solutions salines, celles-ci amenant souvent rapidement la dilution sanguine. Lust a noté que 200 grammes de sérum physiologique ont abaissé la viscosité de 4,7 à 3,5 en trente heures.

La viscosité reste par contre normale dans les troubles digestifs chroniques aboutissant à l'amaigrissement et l'athrepsie. Cependant les petits malades sont également déshydratés. MM. Weill et Gardère donnent de ce fait l'explication suivante : « Dans ces cas, le sang subit simultanément ou successivement deux modifications : destruction globulaire par anémie, et concentration par déshydratation, qui agissent d'une façon opposée sur la viscosité et la maintiennent à son taux normal ».

C. — *Action de certains régimes et médicaments sur la viscosité du sang.*

Toute une série de travaux se sont inspirés de l'action de certains régimes ou de certaines médications sur la viscosité du sang.

Quelques auteurs ont étudié l'influence des alimentations carnées ou grasses. Il semble que la viscosité sanguine s'élève avec l'alimentation carnée, à condition que l'expérience se poursuive pendant plusieurs semaines.

Perro (1), Zanda (2), Herzog (3) et Loria (4) ont étudié l'action des purgatifs salins et de quelques diurétiques. Exception faite pour la théobromine, tous ces médicaments agissent comme élévateurs de la viscosité sanguine. Il est facile de comprendre que les substances amenant une déperdition aqueuse augmentent la viscosité du sang.

L'action opposée de la théobromine, qui, tout en provoquant la diurèse, abaisse la viscosité sanguine est plus obscure.

L'intérêt tout particulier que présentent les iodures étudiés au point de vue de leur action sur la viscosité du sang, devait provoquer de nombreux travaux. A la suite des vieux auteurs, il a été longtemps de notion courante que les iodures étaient des hypovisqueux. En fait l'expérience n'a pas toujours confirmé la théorie. Si Müller et Inada (5), Rubino (6), Boveri (7) et Ceroni ont constaté une hypoviscosité

1. Nicotra-Perro, *Viscosita dietro la somministrazione di purganti sali* (*Arch. difarm. sper.*, 1906).

2. Zanda, *Glucoso, urea e viscosita dietro la somministrazione di alcuni diuretici* (*Ibid.*, 1906).

3. K. Herzog, *Beiträge zur Frage der Veränderung der Viskosität des Blutes bei Injektion von Herzgiften* (*Inaug. Diss.* Saint-Petersbourg, 1908).

4. G. Loria, *Ricerche viscosimetriche sul sangue sotto l'influenza dei vareii diuretici, con speciale riguardo al meccanismo di azione della teobromina nei suoi benefici effetti nella cardiosclerosi et stati affini* (*Riv. crit. di Clin. med.*, 1911, nos 5, 6, 7).

5. O. Müller et Inada, *Deutsche med. Woch.*, 1904, t. XXX.

6. Rubino, *Gazz. dr. Osped. e, d. Clin.*, 1908, n° 14.

7. P. Boveri, *Viscosité du sang et iode* (*la Presse médicale*, 1908, n° 63).

marquée, par contre Determann a presque toujours vu la viscosité sanguine élevée par l'iodure de potassium. Pour lui, les résultats de Müller et Inada s'expliquent par le fait de la sobriété temporaire des sujets sur lesquels ils expérimentaient.

Casckej (1) a en effet constaté la forte action hyper-viscosante de l'alcool.

Adam, expérimentant sur trente sujets, ne constate d'hypoviscosité que dans six cas et avec des doses d'iodure de potassium supérieures à 3 grammes. Cet auteur pense que la quantité d'iode qui passe dans le sang avec les doses usuelles est insuffisante pour agir sur la viscosité.

Avant lui, Prévost et Binet étaient arrivés aux mêmes conclusions : *in vitro*, la viscosité du sang est diminuée par les iodures ; mais expérimentalement, l'emploi de doses thérapeutiques par voie stomacale n'exerce pas d'influence sur la viscosité sanguine.

Cette question a été reprise par M. A. Martinet, au cours de travaux se rapportant à l'étude du rapport qui existe entre la tension artérielle et la viscosité sanguine. De ses recherches, il a tiré d'importantes conclusions au point de vue du diagnostic, du pronostic et du traitement de l'artério-sclérose.

Dans l'histoire de la viscosimétrie des humeurs, ses travaux marquent une date puisqu'ils font entrer

1. S. W. M. Casckej, *The Journal*, 1909, t. XX.

dans la pratique clinique l'étude de la viscosité du sang.

M. Martinet examine d'abord la valeur des trois termes d'une proposition sur laquelle on s'est longtemps basé pour administrer les iodures (1) : 1° les iodures sont vaso-dilatateurs ; 2° les iodures diminuent la viscosité sanguine ; 3° *en conséquence*, ils abaissent la pression artérielle.

L'auteur constate que l'action vaso-dilatatrice des iodures est une vue purement hypothétique qui n'a jamais été démontrée expérimentalement ; que les constatations positives de l'action hypoviscosante des mêmes iodures ont été jusqu'ici peu nombreuses et contradictoires, et que si l'incertitude dans laquelle nous sommes relativement à la vaso-dilatation et la viscosité ne nous permet pas de conclure logiquement à l'action hypotensive, les observations directes n'y autorisent pas davantage, les résultats expérimentaux étant absolument contradictoires.

Poursuivant, au point de vue clinique, l'étude du rapport et de la tension artérielle avec la viscosité sanguine, M. Martinet divise les hypertendus en deux classes : les hypertendus à viscosité élevée et les hypertendus à viscosité basse (2).

1. A. Martinet, *Faut-il prescrire l'iodure de potassium aux hypertendus ?* (la Presse médicale, n° 90, 1911).

2. A. Martinet, *Pression artérielle et viscosité sanguine* (la Presse médicale, n° 99, 1911). — *Viscosité sanguine et artériosclérose* (Journal médical français, n° 2, 1912).

Les premiers sont ceux dont la tension artérielle est supérieure à 17 et la viscosité supérieure à 4,5 ; ce sont pour la plupart des pléthoriques sanguins simples, sans lésion vasculo-rénale appréciable.

Les seconds sont ceux dont la tension est supérieure à 17 avec une viscosité inférieure à 3,8. Ces malades sont toujours des cardio-rénaux, présentant des signes plus ou moins accentués d'artériosclérose.

Examinant de plus près ce rapport

$$\frac{\text{tension artérielle maxima}}{\text{viscosité sanguine}}$$

qu'il nomme rapport sphygmo-viscosimétrique, l'auteur admet qu'à l'état normal ce rapport est constant et voisin de 4. Dans tous les cas où ce rapport a été trouvé supérieur à 4,6 (de 4,6 à ∞), on constatait des lésions évidentes de sclérose artérielle.

M. Martinet donne à ces faits une application pratique précise :

Les iodures à doses moyennes ou faibles (2 gr. à 0 gr. 50) peuvent être indiqués et rendent certainement service chez les hypertendus à viscosité élevée.

Les iodures sont toujours contre-indiqués chez les hypertendus à viscosité basse.

CHAPITRE III

RECHERCHES PERSONNELLES

A. — *Action des cristalloïdes sur les colloïdes tels que la gomme et l'albumine*

Nous avons étudié d'abord l'action de quelques solutions salines sur des substances colloïdes telles que la gomme et l'albumine d'œuf.

La solution de gomme arabique était préparée à 2 o/o.

La solution albumineuse était préparée avec un blanc d'œuf battu longtemps dans 100 centimètres cubes d'eau distillée, et filtré.

Les solutions salines (chlorure de sodium, sulfate de soude, phosphate de soude, iodure de potassium) étaient à des taux variant entre 0,5 et 20 o/100.

Les expériences ont été faites à la température du laboratoire.

1. — *Solution de gomme arabique à 2 0/0*
+ *solution de NaCl*

	Tempér.	Temps mis par le liquide pour couler de <i>f</i> en <i>g</i> dans le viscosimètre.
Solution gommée. = 1	21°	3'42" 2/5
Eau distillée. = 1		
Solution gommée. = 1	21° 2	3'42" 1/5
Solution de NaCl à 0.5 0/00... = 1		
Solution gommée. = 1	21° 2	3'37" 1/5
Solution de NaCl à 1 0/00... = 1		
Solution gommée. = 1	21° 2	3'21"
Solution de NaCl à 2 0/00... = 1		
Solution gommée. = 1	20° 5	3'17" 1 5
Solution de NaCl à 5 0/00... = 1		
Solution gommée. = 1	20° 5	3'18" 2/5
Solution de NaCl à 10 0/00... = 1		
Solution gommée. = 1	20° 5	3'18"
Solution de NaCl à 15 0/00... = 1		
Solution gommée. = 1	20° 2	3'18" 1/5
Solution de NaCl à 20 0/00... = 1		

D'après cette série d'expériences, l'action de la solution chlorurée est hypoviscosante à partir de 0.5 0/00 jusqu'à 5 0/00 environ. A partir de ce taux la viscosité reste constante, dans les limites de l'expérience, malgré des concentrations salines de plus en plus fortes.

II. — Solution de gomme arabique à 2 o/o

+ solution de $\text{SO}^{\text{e}}\text{Na}^{\text{e}}$

La solution de $\text{SO}^{\text{e}}\text{Na}^{\text{e}}$ était de concentration telle, qu'elle équivalait en poids moléculaire à la solution de NaCl .

	Temps.	Viscosité du liquide pour écouler de 5 cm. g dans le viscosi- mètre
Solution de gomme..... = 1	19 ^s 6	3 50
Rau distillée..... = 1		
Solution de gomme..... = 1	20 ^s 5	3 24 ^{''} 25
$\text{SO}^{\text{e}}\text{Na}^{\text{e}}$ à 4 o/o..... = 1		
Solution de gomme..... = 1	20 ^s 5	3 25 ^{''} 25
$\text{SO}^{\text{e}}\text{Na}^{\text{e}}$ à 10 o/o..... = 1		
Solution de gomme..... = 1	21 ^s	3 24 ^{''} 15
$\text{SO}^{\text{e}}\text{Na}^{\text{e}}$ à 15 o/o..... = 1		
Solution de gomme..... = 1	21 ^s	3 24 ^{''} 15
$\text{SO}^{\text{e}}\text{Na}^{\text{e}}$ à 20 o/o..... = 1		

III. — Solution de gomme arabique à 2 o/o

+ solution de $\text{P}^{\text{e}}\text{F}^{\text{e}}\text{Na}^{\text{e}}\text{H}$

	Temps.	Viscosité du liquide pour écouler de 5 cm. g dans le viscosi- mètre
Solution de gomme..... = 1	19 ^s 6	3 50
Rau distillée..... = 1		
Solution de gomme..... = 1	20 ^s 5	3 24 ^{''} 25
Phosphate de soude à 10 o/o..... = 1		
Solution de gomme..... = 1	19 ^s 6	3 51 ^{''}
Phosphate de soude à 15 o/o..... = 1		

IV. — *Solution de gomme arabique*
à 2 o/o + solution de KI.

	Tempér.	Temps mis par le liquide pour couler de <i>f</i> en <i>g</i> dans le viscosi- mètre.
Solution de gomme..... = 1		
Eau distillée..... = 1	20° 6	4' 14" 1/5
Solution de gomme..... = 1		
KI à 0,50 o/oo..... = 1	20° 8	4' 16" 3/5
Solution de gomme..... = 1		
KI à 1 o/oo..... = 1	20° 8	3' 50"
Solution de gomme..... = 1		
KI à 5 o/oo..... = 1	20° 8	3' 42" 1/5
Solution de gomme..... = 1		
KI à 10 o/oo..... = 1	20° 8	3' 56" 2/5

On voit ici la viscosité prendre d'abord des valeurs décroissantes sous l'influence de KI; puis, quand la solution saline atteint une concentration de 1 o/oo, la courbe se relève et la viscosité augmente jusqu'aux limites de l'expérience.

V. — *Solution de gomme arabique*
à 2 o/o + solution d'Urée.

	Tempér.	Temps mis par le liquide pour couler de <i>f</i> en <i>g</i> dan le viscosi- mètre.
Solution de gomme..... = 1		
Eau distillée..... = 1	19° 9	4' 4"
Solution de gomme..... = 1		
Urée à 5 o/oo..... = 1	19° 9	4' 18" 2/5

	Tempér.	Temps mis par le liquide pour couler de <i>f</i> en <i>g</i> dans le viscosi- mètre.
Solution de gomme..... = 1		
Urée à 10 o/oo..... = 1	19° 9	4'20"
Solution de gomme..... = 1		
Urée à 15 o/oo..... = 1	19° 9	4'20" 1/5

VI. — *Blanc d'œuf battu dans 100 centimètres cubes
d'eau et filtré, + Solution de NaCl.*

	Tempér.	Temps mis par le liquide pour couler de <i>f</i> en <i>g</i> dans le viscosi- mètre.
(1) Solution albumineuse..... = 1		
Eau distillée..... = 1	20° 9	3' 1" 1/5
Solution albumineuse..... = 1		
NaCl à 5 o/oo..... = 1	21°	2'59" 2/5
Solution albumineuse..... = 1		
NaCl à 10 o/oo..... = 1	21° 6	2'59"
Solution albumineuse..... = 1		
NaCl à 15 o/oo..... = 1	22°	3'

Un blanc d'œuf de poule contient 0,6 o/o de
matières minérales.

Son poids est environ de 20 grammes.

Le liquide totale de l'expérience (1) contient donc
environ 1 o/oo de chlorures.

Par conséquent l'action hypoviscosante de NaCl
paraît moins forte pour l'albumine que pour la
gomme.

B. — Viscosité des urines

Les déterminations que nous avons effectuées nous permettent de conclure :

1° Que la viscosité de l'urine normale est la même que celle de l'eau distillée.

2° Que dans beaucoup d'états pathologiques, cette viscosité ne varie que dans une faible mesure.

3° Enfin que parmi les substances qu'on rencontre anormalement dans l'urine, seuls l'albumine et le sucre paraissent exercer une modification notable de la viscosité qu'ils augmentent.

Urine normale

à 16°.....	1' 20" 4/5
Eau distillée à 16°.....	1' 21"

Diabète (50 gr. de sucre par litre).

Pas d'albumine.

45° — 44°5.....	2' 12" 3/5
35°5 — 35°3.....	2' 35" 4/5
30° —	2' 53" 1/5
25° —	3' 25" 4/5
Eau distillée à 25° —	2' 40"

Néphrite aiguë

54°7 — 54°.....	1' 44"
39° — 38°7.....	2' 13" 4/5
30°2 — 30°.....	2' 37" 4/5
26°4 — 26°2.....	2' 51" 2/5
Eau distillée à 26° —	2' 36"

Après précipitation de l'albumine et filtrage :

39°4 — 39°2.....	2' 10"
30°2 — 30°.....	2' 35"
26°1 — 26°.....	2' 48" 1/5
Eau distillée à 26° —	2' 36"

Urine très albumineuse

49°6 — 49°.....	1' 51" 2/5
40°2 — 40°.....	2' 12" 2/5
29° — 28°9.....	2' 42" 1/5
24°9 —	2' 56" 3/5
Eau distillée à 25° —	2' 40"

Ictère catarrhal prolongé

Le 9 juillet :

50°3 — 50°1.....	1' 46" 4/5
39°5 — 39°4.....	2' 6" 4/5
30°7 — 30°6.....	2' 30" 1/5
25°3 — 25°2.....	2' 47" 3/5

Le 12 juillet :

50°3 — 50°.....	1' 48"
39°7 — 39°5.....	2' 8" 3/5
30°3 — 30°2.....	2' 34"
25°8 — 25°6.....	2' 48" 4/5

Le 12 septembre :

50° — 49°2.....	1' 49" 4/5
40°2 — 40°.....	2' 2" 4/5
30°6 — 30°4.....	2' 28" 1/5
26° — 25°9.....	2' 44" 1/5
Eau distillée à 26° —	2' 36"

Pneumonie.

Premier malade. — Avant la défervescence (600 cmc. d'urine en vingt-quatre heures. Pas d'albumine).

50°3 — 50°.....	1' 46'' 1/5
39°8 — 39°4.....	2' 9'' 3/5
30°3 — 30°1.....	2' 33'' 2/5
26°.....	2' 48'' 1/5

Après la défervescence (1500 cmc. d'urine en vingt-quatre heures. Pas d'albumine).

50°2 — 49°7.....	1' 47'' 4/5
39°9 — 39°6.....	2' 8'' 1/5
30°6 — 30°3.....	2' 35''
25° — 24°9.....	2' 54''

Deuxième malade. — Avant la défervescence (2 gr. 2 d'albumine par litre).

49°4 — 49°1.....	1' 52''
40° — 39°3.....	2' 9'' 2/5
30°4 — 30°2.....	2' 32'' 1/5
24°3 — 24°2.....	2' 54'' 2/5

Après la défervescence :

48°6 — 48°2.....	1' 50'' 4/5
39°2 — 39°.....	2' 8'' 1/5
30°2 — 30°1.....	2' 32'' 3/5
24°8 — 24°7.....	2' 50'' 3/5

Dans chacun de ces deux cas, les courbes sont presque superposables.

Fièvre typhoïde

55°2 — 54°2.....	1' 41''
44° — 43°4.....	1' 55''

29°6 — 29°5.....	2' 30"
25° —	2' 46" 2/5
Eau distillée à 25° —	2' 40"

Fièvre typhoïde (à la période de convalescence).

50°3 — 50°.....	1' 41" 1/5
38°5 — 38°2.....	2' 2" 1/5
30°2 — 30°.....	2' 24" 3/5
26°1 — 26°.....	2' 38"

Solution de bile de bœuf dans l'eau distillée

I. — A 1 pour 100 :

Températures	Temps
48°2 — 47°4.....	1' 47" 2/5
38°6 — 38°1.....	2' 6"
31°1 — 31°.....	2' 25"
24°8 —	2' 45" 2/5
Eau distillée à 24°8 —	2' 41"

II. — A 1 pour 20 :

Températures	Temps
48°5 — 48°.....	1' 50" 4/5
40° — 39°3.....	2' 9" 1/5
31°1 — 31°.....	2' 31" 2/5
24°9 —	2' 51" 4/5
Eau distillée à 24°9 —	2' 40" 3/5

III. — A 1 pour 5 :

Températures	Temps
49°3 — 48°4.....	2' 13"
38°4 — 38°.....	2' 41"
30°3 —	3' 9"
25° —	3' 35" 4/5
Eau distillée à 25° —	2' 40"

C. — *Viscosité du sérum.*

*Essai d'application de la viscosimétrie au dosage
d'albumine d'un sérum*

Les expériences dont nous publions plus loin les résultats ont eu pour but de rechercher si la viscosimétrie pouvait être appliquée au dosage des albumines d'un sérum et plus généralement des humeurs de l'organisme. La pesée des albumines est une méthode précise, mais longue et assez minutieuse ; elle nécessite de plus de 5 à 10 centimètres cubes de sang ce qui oblige à une ponction de la veine rendant difficile de pratiquer chez le même malade des examens répétés.

Divers auteurs ont démontré que la méthode réfractométrique permet d'apprécier rapidement et avec une grande exactitude la quantité d'albumine contenue dans un sérum, à l'aide d'une minime quantité de sang. M. Vaucher (1) a vérifié ces résultats et appliqué la réfractométrie à l'étude des variations de l'hydrémie chez les brightiques de types divers et chez les cardiaques œdémateux. Mais les réfractomètres sont des appareils de prix élevé qui ne trouvent pas place dans tous les laboratoires. Nous avons cherché si une simple détermination

1. E. Vaucher, *l'Hydrémie des brightiques et des cardiaques œdémateux*. Thèse de Paris, 1911.

viscosimétrique ne pourrait rendre les mêmes services.

Y a-t-il lieu de tenir compte de l'influence des cristalloïdes (urée et chlorure de sodium) sur la viscosité du sérum ? Non, si nous admettons avec M. Vaucher que la teneur du sang en chlorure de sodium et en urée est à peu près constante ; 5 à 6 grammes par litre pour le chlorure de sodium, avec une légère augmentation chez certains brigh-tiques œdémateux, et nous avons vu d'autre part que, à partir de 4 o/oo les solutions de NaCl paraissent exercer une action constante sur la viscosité des solutions colloïdes. Pour l'urée, 0 gr. 20 à 0 gr. 50 par litre chez beaucoup de malades œdémateux comme chez les sujets normaux. Ce n'est que dans certains cas de rétention azotée que l'urée s'accumule en grande quantité dans le sérum (3, 4 et même 5 grammes).

Nous avons recherché la viscosité d'un sérum pur et celle du même sérum contenant de l'urée dans la proportion de 2 à 5 grammes o/oo.

Les résultats furent les suivants :

Sérum pur	16°	2' 9" 3/5
Sérum + urée à 2 o/oo.....	16°1	2' 10"
Sérum + urée à 5 o/oo.....	16°1	2' 9" 2/5

Il apparaît donc que la présence d'urée en excès qui demande rectification dans la méthode réfractométrique peut être écartée comme cause d'erreur dans une détermination viscosimétrique.

Nous avons pris divers échantillons de sérum (sérum humain, sérum de chien, sérum de mouton) ; pour chacun d'eux nous avons fait des dilutions à taux divers avec de l'eau chlorurée à 7 o/oo. Dans ces conditions, la concentration saline des différents mélanges n'était pas modifiée.

Nous avons recherché ensuite la viscosité de chacun de ces mélanges et celle du sérum initial, après en avoir dosé l'albumine.

Technique du dosage par pesée des albumines du sérum

On prélève 10 centimètres cubes du sérum, on y ajoute 50 centimètres cubes d'eau distillée, 4 ou 5 gouttes d'acide acétique et 1 à 2 grammes de chlorure de sodium. On porte ensuite à l'ébullition jusqu'à coagulation complète de l'albumine. Après refroidissement on filtre sur deux schleichers équilibrés. On lave rapidement le dépôt d'albumine à l'eau bouillante jusqu'à ce que le filtrat ne donne plus de réaction avec l'azotate d'argent.

On sèche à l'étuve à 55 degrés jusqu'à poids constants, on pèse les deux schleichers et la différence du poids donne le poids de la quantité d'albumine contenue dans 10 centimètres cubes de sérum.

I. — *Sérum d'urémique*

95 grammes d'albumine par litre.

	Tempér.	Temps mis par le liquide pour couler de <i>f</i> en <i>g</i> dans le viscosi- mètre.
Sérum pur.....	24°-23°9	2'25" 3/5
Sérum..... = 1	24° 23°8	1'36"
Eau distillée..... = 1		
Sérum..... = 1	24°-23°9	1'24" 4/5
Eau distillée..... = 2		
Sérum..... = 1	23°8-23°7	1'20" 2/5
Eau distillée..... = 3		

II. — *Même sérum*

	Tempér.	Temps mis par le liquide pour couler de <i>f</i> en <i>g</i> dans le viscosi- mètre.
Sérum pur.....	16° 5	3'
Sérum..... = 2	16° 5	2'12" 2/5
Eau chlorurée à 7 0/00 = 1		
Sérum..... = 3	16° 5	2'22" 1/5
Eau chlorurée..... = 1		
Sérum..... = 4	16° 5	2'29"
Eau chlorurée..... = 1		

III. — *Sérum de chien*

69 gr. 400 d'albumine 0/00

	Tempér.	Temps mis par le liquide pour couler de <i>f</i> en <i>g</i> dans le viscosi- mètre.
Eau distillée.....	17°	1'20"
Sérum pur.....	17°	2'13" 2/5

	Tempér.	Temps mis par le liquide pour couler de <i>f</i> en <i>g</i> dans le viscosi- mètre.
Sérum..... = 4	17°	2' 1" 3/5
Eau chlorurée à 7 0/00..... = 1		
Sérum..... = 3	17°	1' 54" 4/5
Eau chlorurée..... = 1		
Sérum..... = 2	17°	1' 49" 3/5
Eau chlorurée..... = 1		
Sérum..... = 1	17°	1' 41" 2/5
Eau chlorurée..... = 1		
Sérum..... = 1	17°	1' 31" 1/5
Eau chlorurée..... = 2		
Sérum..... = 1	17°	1' 35"
Eau distillée..... = 2		
Sérum..... = 1	17°	1' 25"
Eau chlorurée..... = 3		

IV. — *Sérum de mouton*

63 gr. 500 d'albumine par litre

	Tempér.	Temps mis par le liquide pour couler de <i>f</i> en <i>g</i> dans le viscosi- mètre.
Eau distillée.....	17° 7	1' 18" 2/5
Sérum..... = 4	17° 7	2' 7"
Eau chlorurée à 7 0/00..... = 1		
Sérum..... = 3	17° 7	2' 4" 4/5
Eau chlorurée... .. = 1		
Sérum..... = 2	17° 7	1' 53" 2/5
Eau chlorurée..... = 1		
Sérum..... = 1	17° 7	1' 44" 1/5
Eau chlorurée..... = 1		

V. — *Sérum humain* (néphrite chez une syphilitique)

88 grammes d'albumine par litre.

	Tempér.	Temps mis par le liquide pour couler de <i>f</i> en <i>g</i> dans le viscosi- mètre.
	—	—
	16°	3'4"
Eau distillée.....	16°	1'21"

VI. — *Liquide d'ascite*

13 gr. 70 d'albumine o/oo.

	Tempér.	Temps mis par le liquide pour couler de <i>f</i> en <i>g</i> dans le viscosi- mètre.
	—	—
Eau distillée.....	16° 3	1'20" 2/5
Liquide d'ascite pur.....	16° 4	1'32"
Liquide d'ascite..... = 4	16° 4	1'29" 2/5
Eau chlorurée à 7 o/oo..... = 1		
Liquide d'ascite..... = 3	16° 4	1'28" 3/5
Eau chlorurée = 1		
Liquide d'ascite..... = 2	16° 4	1'27" 3/5
Eau chlorurée = 1		
Liquide d'ascite..... = 1	16° 4	1'26" 1/5
Eau chlorurée = 1		
Liquide d'ascite..... = 1	16° 4	1'23"
Eau chlorurée = 2		
Liquide d'ascite..... = 1	13° 4	1'24" 2/5
Eau distillée = 2		
Liquide d'ascite..... = 1	16° 4	1'24"
Eau chlorurée..... = 3		

VII. — *Liquide d'ascite*

68 grammes d'albumine par litre

46°2 — 45°3.....	2'22"
38°6 — 38°2.....	2'46"
36°3 — 36°.....	2'52"
30°5.....	3'17" 4/5

Eau distillée.

VIII. — *Blanc d'œuf battu dans 100 centimètres cubes d'eau et filtré*

25 grammes d'albumine 0/00 du liquide filtré

	Tempér.	Temps mis par le liquide pour couler de <i>f</i> en <i>g</i> dans le viscosimètre.
Solution albumineuse.....	16° 1	1'35" 3/5
Solution albumineuse = 1	16° 1	1'28" 2/5
Eau chlorurée à 7 0/00..... = 1	16° 1	1'28"
Solution albumineuse..... = 1	16° 1	1'28"
Eau chlorurée..... = 2	16° 1	1'27" 1/5
Solution albumineuse..... — 1	16° 1	1'27" 1/5
Eau chlorurée..... = 3	16° 1	1'27" 1/5

L'examen de ces différents tableaux montre que si l'on porte en abscisse les quantités d'albumine, et en ordonnée les temps exprimés en secondes, on obtient des courbes se rapprochant assez sensiblement de la ligne droite.

Ceci conduit à conclure que les variations de la

viscosité paraissent sensiblement proportionnelles aux quantités d'albumine.

Mais les résultats ne sont pas suffisamment précis pour que la viscosimétrie puisse constituer actuellement une méthode de dosage de l'albumine d'un sérum, méthode qui ne pourrait être d'ailleurs utilisable que dans les cas où l'on aurait à enregistrer de fortes variations d'albumine.

CONCLUSIONS

Les cristalloïdes agissent sur la viscosité des colloïdes, surtout sur la gomme et l'albumine.

Il se produit, d'abord, une baisse de viscosité, plus sensible pour la gomme que pour l'albumine. A partir d'une certaine concentration variable avec chaque cristalloïde, la viscosité cesse de baisser, et, quand il s'agit de KI, la courbe ne tarde pas à se relever, la viscosité reprenant des valeurs croissantes.

L'urée ne modifie pas la viscosité de l'albumine ; elle diminue, mais faiblement, la viscosité de la gomme.

La viscosité de l'urine normale est la même que celle de l'eau distillée. Dans beaucoup d'états pathologiques cette viscosité ne varie pas, et parmi les substances que l'on rencontre anormalement dans l'urine, l'albumine et le sucre paraissent seuls exercer une influence notable sur la viscosité qui est augmentée.

Nous avons recherché les variations de la viscosité en fonction de la quantité d'albumine. Ces variations, dans les limites de l'expérience, sont sensiblement proportionnelles à la quantité d'albumine ;

mais les résultats ne sont pas suffisamment précis pour que la viscosimétrie puisse constituer, au moins actuellement, une méthode de dosage de l'albumine du sérum.

Vu : le Président de thèse,

ROGER

Vu : le Doyen,
LANDOUZY

Vu et permis d'imprimer :
Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,

L. LIARD

BIBLIOGRAPHIE

- ADAM (H.). — Zur viskosität des Blutes. Zeitschr. f. klin. Med., 1909, Bd LXVIII, H. 3-4.
- AUSTRIAN (Ch. R.). — The viscosity of the blood in health and disease (Bull. of the J. Hopk. Hosp., 1911, vol. XXII).
- BACHMANN (Zurich). — Die klinische Verwertung der Viskosität bestimmung an Hand von vierhundert Bestimmungen (Deutschen Archiv. für klin. Med., Leipzig, octobre 1908).
- BLUNSKY. — Beiträge zur Lehre von der viskosität des Blutes. (Dissertation, Zurich, 1908).
- BORELLI et DATTA. — Viscosimetria del siero di sangue (Rev. crit. di clin. med., 1906).
- BOVERI (P.). — Viscosité du sang et iode (la Presse médicale, 1908, n° 63).
- BOTAZZY (FIL.). — Ricerche sull'attrito interno (viscosita) di alcuni liquidi organici e di alcune soluz. acq. di sost. proteiche. — L'orosi dell'Estr., 1897 (Archives italiennes de Biologie, t. XXIX, 1898).
- BURTON-OPITZ (R.). — Vergleich des Viskosität des normalen Blutes mit der des oxalatblutes, des defibrinirten Blutes und des Blutserum bei verschiedener temperatur (Pflüger's Archiv., vol. 82, 1900).
- CASCKEJ (S. W. M.). — The Journal, 1909, t. XV.
- DETERMANN. — Zur Kritik der Viskosimétrie des Blutes (Zeitschr. f. klin. Med., 1910, Bd. LXX, H. 3-4).
- DETERMANN et WEILL. — Untersuchungen über Viskosität

- u. Gasgehalt des menschlichen Blutes (Zeitschr. f. kl. Med., 1910, Bd. LXX).
- GOUGET (A.). — Quelques récents travaux sur la viscosité du sang (Presse médicale, n° 52, 1911).
- GAY (R.). — Étude critique sur la viscosité du sang (Thèse de Paris, 1909).
- HESS (Walter) (de Zurich). — Viscosität des Blutes und Herzarbeit (Vierteljahrschrift der naturforschergesellschaft. Zurich, 1906).
- HERZOG (K.). — Beiträge zur Frage der Veränderung der Viskosität des Blutes bei Injektion von Herzgiften (Inaug. Diss., Saint-Petersbourg, 1908).
- HIRSCH (C.). et BECK (C). — Studien. zur Lehre von der Viscosität (inneren Reibung) des lebenden, menschlichen, Blutes (Deutsches Archiv. f. kltn. Médic. Bd. 99, 1901).
- HÜRTHLE (K.). — Ueber eine Methode zur Bestimmung der Viscosität des lebenden Blutes und ihre Ergebnisse (Pflüger's Archiv., vol. 82, 1900).
- KORANYI et BENCE. — Pflüger's Archiv. CX.
- LEWY (B.). — Die Reibung des Blutes (Pflüger's Archiv., Bd. 65, 1897).
- LORIA (G.). — Ricerche viscosimetriche sul sangue sotto l'influenza dei varii diuretici, con speciale riguardo al meccanismo di azione della teobromina nei suoi benefici effetti nella cardioclerosi e stati affini (Riv. crit. di clin. med., 1911, n° 5, 6, 7).
- MARTINET (A.). — Hypertension artérielle et viscosité sanguine (La Presse médicale, octobre 1910).
- Faut-il prescrire l'iodure de potassium aux hypertendus ? (La Presse Médicale, n° 90, 1911).
 - Pression artérielle et viscosité sanguine. (La Presse Médicale, n° 99, 1911).
 - Viscosité sanguine et artério-sclérose (Journal médical français n° 2, 1912).
- MAYER (A.). Description d'un nouveau viscosimètre.
- Rôle de la viscosité dans les échanges osmotiques.

- Coefficients de viscosité du sérum et du plasma sanguin normaux chez quelques animaux.
- Études viscosimétriques sur la coagulation des albuminoïdes du plasma sanguin par la chaleur.
- Variations de viscosité et variations des quantités de substances albuminoïdes du plasma.
- Comptes rendus de la Société de Biologie, 1902-1903.

MULLER (O.) et INADA. — Deutsche med., Woch., 1904, t. XXX.

NICOTRA-PERRO. — Viscosita dietro la somministrazione di purganti sali (Arch. di farm. sper., 1906).

POISEUILLE. — Recherches expérimentales sur le mouvement des liquides dans les tubes de très petit diamètre (Annales de Chimie et de Physique, t. VIII, 1843, et t. XXI, 1847).

ROGER (Professeur H.). — Introduction à l'étude de la viscosité du sang (Archives de médecine expérimentale, septembre 1908).

ROMME. — A propos de la viscosité du sang (La Presse Médicale, n° 1, 1909).

RUBINO. — Gazz. d. Osped. e d. Clin., n° 14, 1908.

SEGALE. — Recherches sur quelques propriétés physico-chimiques du sérum de sang, dans diverses lésions expérimentales (Archives italiennes de Biologie, 1907).

TISSOT (Robert). — La Viscosité sanguine (Folia hæmatologica, juin 1907).

VAUCHER (E.). — L'Hydrémie des brightiques et des cardiaques œdémateux. Thèse de Paris, 1911.

WEILL et GARDERE. — La Viscosité sanguine chez l'enfant (Paris-Médical, n° 32, 1912).

ZANDA. — Glucoso, urea e viscosita dietro la somministrazione di alcuni diuretici (Arch. di farm. sper., 1906).

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION.....	9
CHAPITRE PREMIER.....	11
A. — Historique. Définition du coefficient de viscosité. Différentes méthodes de détermi- nation.....	11
B. — Description du viscosimètre d'Ostwald. Critique de l'appareil. Autres viscosimètres..	17
CHAPITRE II. — Résumé des travaux sur la viscosité..	25
A. — Recherches faites sur les animaux.....	25
B. — Recherches faites sur l'homme... ..	32
CHAPITRE III. — Recherches personnelles.....	43
CONCLUSIONS.	61
BIBLIOGRAPHIE.....	63

TABLE OF CONTENTS

Introduction 1

Chapter I 10

Chapter II 25

Chapter III 40

Chapter IV 55

Chapter V 70

Chapter VI 85

Chapter VII 100

Chapter VIII 115

Chapter IX 130

Chapter X 145

Chapter XI 160

Chapter XII 175

Chapter XIII 190

Chapter XIV 205

Chapter XV 220

Chapter XVI 235

Chapter XVII 250

Chapter XVIII 265

Chapter XIX 280

Chapter XX 295

Chapter XXI 310

Chapter XXII 325

Chapter XXIII 340

Chapter XXIV 355

Chapter XXV 370

Chapter XXVI 385

Chapter XXVII 400

Chapter XXVIII 415

Chapter XXIX 430

Chapter XXX 445

Chapter XXXI 460

Chapter XXXII 475

Chapter XXXIII 490

Chapter XXXIV 505

Chapter XXXV 520

Chapter XXXVI 535

Chapter XXXVII 550

Chapter XXXVIII 565

Chapter XXXIX 580

Chapter XL 595

Chapter XLI 610

Chapter XLII 625

Chapter XLIII 640

Chapter XLIV 655

Chapter XLV 670

Chapter XLVI 685

Chapter XLVII 700

Chapter XLVIII 715

Chapter XLIX 730

Chapter L 745

Chapter LI 760

Chapter LII 775

Chapter LIII 790

Chapter LIV 805

Chapter LV 820

Chapter LVI 835

Chapter LVII 850

Chapter LVIII 865

Chapter LIX 880

Chapter LX 895

Chapter LXI 910

Chapter LXII 925

Chapter LXIII 940

Chapter LXIV 955

Chapter LXV 970

Chapter LXVI 985

Chapter LXVII 1000

